계전시스템의 보호협조를 위한 컴퓨터 프로그램 개발

김 남 호
강원대학교 전기공학과

Development of Computer Program for Relay Coordination

Nam-Ho Kim
Dept. of Electrical Engineering, Kangweon National Univ.

Abstract

This paper deals with the development of computer programs that can be used for fuse and relay coordination in power station and also with the characteristics of these protective devices. The coordination of protective devices is determined by caculation from the lowest voltage level back to the power source. The minimum time difference between two different characteristics on the time-current curves is determined by the Golden Section searching routine.

1. 서론

컴퓨터를 사용하기 위하여 template곡선을 수학식으로 나타내야 하는데 물론 이 식이 간단할수록 프로그램이 쉬워지게 된다. 이들 곡선을 수학식으로 표시할 것인가, 아니면 memory에 표의 형태로 저장시킬 것인가의 결정은 협조의 精度나 사용된 방법에 요구되는 기억용량을 고려해서 결정하게 된다. 종래의 과전류계전기 정정용 컴퓨터 프로그램에서는 과전류계전기의 동작특성을 polynomial이나 hyperbolic식의 형태로 표시하였다.

Albrecht등[1]은 과전류계전기의 동작특성을 두개의 변수 즉 시간배수정정(TMS:time multiplier setting)과 pickup배수를 사용하여 polynomial로 표시하였다.

$$T = \left[\sum_{j=m}^{n} \sum_{i=0}^{p} a_{ji} (TMS)^j (I)^i \right]^k \qquad (1)$$

여기서 a_{ji}, k, m, n, o와 p는 계전기형태에 따라 결정되는 상수값들이다.

Radke[2]는 계전기동작시간에 대한 대수값을 전류I의 대수값으로 표시하였다.

$$\log(T) = a_0 + a_1(\log I) + a_2(\log I)^2 + \cdots \qquad (2)$$

여기서 I는 pickup 배수이며 T는 계전기동작시간을 나타낸다.
계전기 곡선표시를 (2)로 나타내는 경우는 (1)보다 기억용량을 덜 차지하게 된다. 그러나 이들 두 식은 최소 pickup전류값이나 고장전류가 클 때 최소동작시간에 대하여 점근성(asymptotic)이 없다.

Sachdev, Singh, Fleming등은[3], 또 다른 형태의 여러가지 polynomial식을 제안했다.

$$\log(T) = a_0 + \frac{a_1}{\log I} + \frac{a_2}{(\log I)^2} + \cdots \qquad (3)$$

$$T = a_0 + \frac{a}{I-1} + \frac{a}{(I-1)^2} + \cdots \qquad (4)$$

이러한 식들은 pickup전류값이나 최소동작시간에서 점근성을 가지게 된다.
이상의 polynomial식들은 계산이 과대하게 복잡하여 Warrington[4]은 가능하다면 다음과 같은 일반화된 hyperbolic함수를 사용할 것을 제안하였다.

$$T = a_0 + \frac{a_1(TMS)}{(I\ I_0)^n - I_0^m} \qquad (5)$$

여기서 I_0는 pickup발생시 탭전류배수이고 a_1은 계전기 설계상수, a_0는 최소 동작시간을 나타낸다.

2. 서로 다른 종류의 보호기기 사이의 협조

같은 종류의 계전기 사이의 협조에서는 둘 사이의 동작시간차는 전류값이 증가할 수록 감소하게 되지만 강반한시 계전기와 표준반한시의 동작특성은 그래프상에서 서로 기울기가 다르므로 최소시간차(MTD:minimum time difference)는 표준반한시계전기의 pickup값에서 강반한시계전기의 최대고장전류값이나 최고정정값(high set value)사이의 영역내에 있게된다.
보호협조시 이러한 MTD를 채아내야 하는데 수렴속도가 빠른 Golden Section 탐색법을 사용하였다.

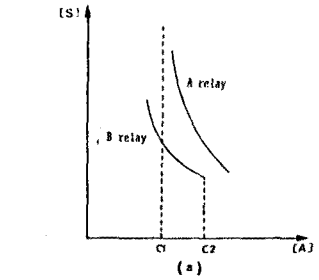
2.1 MTD 탐색법

그림 1(a)는 두개의 계전기 특성을 나타내고 있으며 C1은 계전기 A의 pickup값이고 C2는 계전기 B의 최대고장전류값으로서 전류범위 C1에서 C2를 1로 나타낸다.

Golden Section number[5]는 0.618이다. 전류범위의 크기를 1로 표시했는데 이 값은 너무커서 전류값이 작을때의 minima가 계산되지 않을 수도 있으며 또 한편 너무 작으면 계산시간이 많이 소요되므로 0.0618로 택한다. 전류전체범위를 그림 1(b)와 같이 구분하여 0과 1을 각각 그림 1(a)의 C1과 C2로 대응시킨다.

각 부분구간사이의 간격은 0.1이며 각 부분구간내의 최소시간차를 비교하게 된다. 알고리즘을 간단히 하기 위하여 최소값을 구하는 대신 충분히 큰 값에서 각 시간차이를 빼주고 이를 T라고 한다면 T의 최대값을 구하게 되면된다.

그림 2는 T의 최대값을 계산하는 일예를 보여주고 있다. 여기서 C는 T값에 해당하는 고장전류값을 나타낸다. Ca는 현재의 최대 T에 해당하는 전류값이고 Ca보다 큰 Cb와 Ca보다 작은 Cc에서 새로운 T값을 계산하기 위한 전류값 Cd를 계산한다.



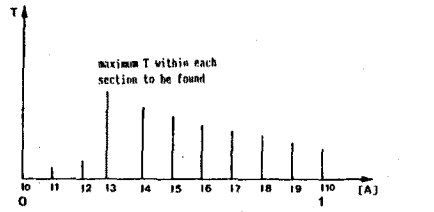


그림 1(a) 계전기 협조범위
(b) MTD 탐색
Fig. 1(a) Relay coordination range
(b) Searching for MTD

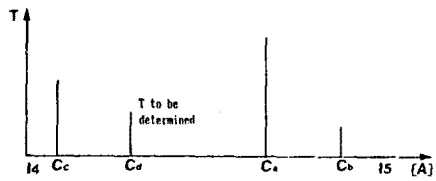


그림 2 T 계산예
Fig. 2 An example for calculation T

여기서 Cd = Cb + Cc - Ca이다. 새로 계산된 T가 전 값보다 크면 이 새로운 T가 최대 T가 되며 그렇지 않으면 그 전의 최대 T가 계속 사용된다. 이러한 과정을 요구되는 精度가 얻어지거나 반복횟수가 충분한 값에 도달할 때까지 되풀이하게 된다.

MTD를 구한 다음 이 값을 grading margin과 비교해야한다. MTD가 grading margin보다 크면 TMS를 0.1즐여서 새로운 MTD를 구하고 그렇지 않으면 TMS를 0.1 증가 시켜서 MTD를 다시 계산한다. TMS의 증가분은 0.1/2n 이며 n은 이러한 변화 발생시마다 1씩 증가시킨다.

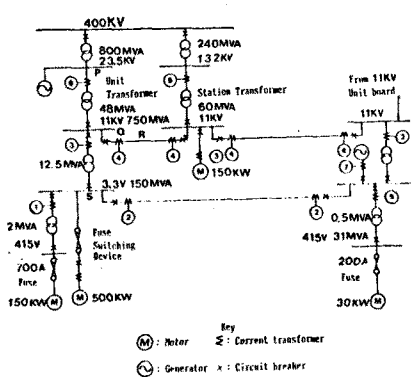


그림 3 발전소 과전류보호도
Fig. 3 Power station overcurrent protection diagram

3. 협조프로그램

3.1 프로그램 설명

그림 3의 방사상system[6]에 대한 협조프로그램은 고장전류정보, fuse정격, 계전기형태 및 grading interval을 근간으로 하여 계전기정정을 결정하는 것이다.

time grading은 차단기동작시간, CT오차등을 포함한 계전기오차로부터 계산된다. time grading뿐만 아니라 current grading 역시 보호기기협조에 필요하다. 계전기정정은 가장 낮은 전압등급에서 높은등급으로 순차적으로 계산된다. 대수좌표에서 강반한시와 표준반한시계계전기의 특성은 기울기가 다르므로 MTD는 상위계전기의 pickup값에서 하위계전기의 최대고장전류값 혹은 최고정정값 사이의 어떤 점에서 발생하게 된다. 따라서 형태가 틀린 보호기기 사이의 협조시에 MTD가 발생되는 고장전류값이 결정되어야만 한다 보호기기가 같은 형태일때는 MTD가 항상 최대고장전류값에서 발생하게 된다. 사용되는 보호기기는 standard inverse relay, very inverse relay, extremely inverse relay 및 fuse이며 프로그램은 fuse다음에 각종 relay가 오는경우, 같은형태의 relay 및 서로다른 relay인 경우 source에 가까운 계전기의 TMS와 pickup값을 결정하게 된다.

그림 3과 그림 4는 최소계전기동작시간을 구하는 방법을 보여주고 있다. relay 1에 대하여 relay 2를 협조시키는 경우 relay 1이 1a와 같은 특성이면 적당한 grading을 얻기 위하여 relay 2는 2a와 같은 특성을 가져야만 한다. 만약 relay 1의 특성이 1b와 같다면 relay 2는 2b가 되어야 한다. 여기서 2b인 경우에 relay 2가 더욱 빨리 작동하게 되므로 relay 1은 높은 pickup값을 사용해야 한다.

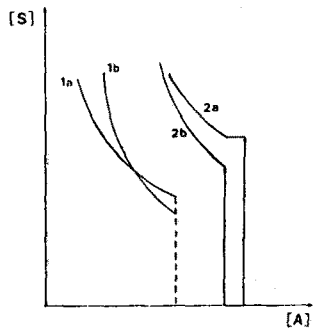


그림 4 계전기동작시간에 대한 pickup값의 영향
Fig. 4 Effect of pickup value on relay operating time

이와같이 계전기의 최적동작시간을 얻으려면 모든 계전기의 pickup값들이 허용가능한 최대값일 때가 된다. 이러한 값들에서 계전기협조가 얻어지지 않으면 각 단계마다 이 값들을 변경시켜 주어야 한다. 예를들어 첫번째 relay에 최고 pickup값을 주어서 보호협조가 얻어졌다면 두번째 relay에 대하여 다시 최고 pickup값을 준다.

이 때 협조를 이룰 수가 없으면 계전기 탭위치를 한 단계 줄인다. 즉 그전이 200% 였다면 175%로 줄인다. 이 과정을 협조가 이루어질 때까지 반복시킨다.

3.2 알고리즘

(a)첫번째가 fuse인 경우 최대고장전류값에 해당하는 동작시간과 fuse 및 relay에 대한 pickup, 최대허용 pickup값을 계산한다.

(b)pickup값이 허용범위내에 있거나 서로 다른 relay사이의 협조인 경우 MTD를 Golden Section법으로 구하고, 이때 MTD와 grading margin값을 비교하여 TMS를 변경시켜 범위내에 들 때까지 MTD를 다시 구한다.

(c)같은 형태의 relay인 경우는 최대고장전류값에서 시간차가 grading margin보다 큰 경우는 (a)로 돌아가서 계산이 필요할 때까지 반복하고 시간차가 grading margin보다 작으면 TMS를 계산하여 범위내에 들면 (a)로 돌아가서 반복 계산한다.

4. 결론

본 논문에서는 발전소내의 fuse와 과전류계전기 사이의 보호협조 프로그램을 소개하였으며 종류가 틀린 계전기 사이의 협조시 MTD는 항상 최대고장전류값에서 발생하는 것이 아님을 알 수 있었다.

계전기의 응동은 다분히 과도현상에 의존하게 되므로 본 프로그램에서 사용한 계전기의 시간-전류특성에서 고장발생시의 과도분 및 CT의 포화현상을 포함시켜야만 한다. 현재의 연구수행상황은 이들 두 특성을 고려한 과전류계전기의 TC 곡선을 수행완료한 상태이다.

고장전류가 큰 경우에는 pickup값을 크게할수록 계전기 작동시간이 빨라지나 고장전류가 작은 경우에는 오히려 작동시간이 길어져서 타계전기에 대한 후비보호기능이 약화되므로 이에대한 프로그램상의 보완이 요구된다.

참 고 문 헌

[1] Albrecht, etc, "Digital computer protective device coordination program I-general program description", IEEE Tranc. PAS, Vol. 83, no.4, pp.402-411, 1964.

[2] G. E. Radke, "A method for calculation time overcurrent relay setting by digital computer", IEEE Tranc. PAS, Vol. 82, pp.189-205, 1963.

[3] J. Sachdev, etc, "Digital IDMT directional overcurrent relays", Developments in power system protection, IEE conference publication no.185, pp.84-87, June 1980.

[4] A. R. van C. Warrington, **Protective relays-their theory and practice**,3rd edition, Vol. 2, Chapman & Hall, London, pp.196, 1977.

[5] E.Polak, **Computational methods in optimization -a unified approach**, Academic Press,pp.31-158, 1971.

[6] CEGB, **Modern power station practice**, Pergamon Press, Vol. 4, pp.253-256, 1971.